

[Abstract of DE 198 30 343 C1]

---

Job No.: 604-100886

Ref.: TG/CR00-043/8300026285 Line 20

Translated from German by the Ralph McElroy Translation Company  
910 West Avenue, Austin, Texas 78701 USA

\* \* \*

Method of producing a layer structure, comprising an AAF (artificial antiferromagnetic) system consisting of at least one bias layer, at least one flux conduction layer and at least one coupling layer arranged between the latter that couples the two adjacent magnetic layers antiferromagnetically, wherein by means of this layer structure a magnetoresistive sensor system with at least two sensor elements can be formed, wherein, in order to enable a locally antiparallel orientation of the magnetizations of the bias layers after production of the AAF system, the symmetry of the AAF system is locally influenced such that the influenced and the non-influenced areas of the layer structure display differing behaviors in a homogeneous magnetic field.

\* \* \*



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 198 30 343 C 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**H 01 F 10/00**  
H 01 L 43/08  
G 01 R 33/09

⑳ Aktenzeichen: 198 30 343.2-33  
㉑ Anmeldetag: 7. 7. 1998  
㉒ Offenlegungstag: -  
㉓ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 6. 4. 2000

**DE 198 30 343 C 1**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

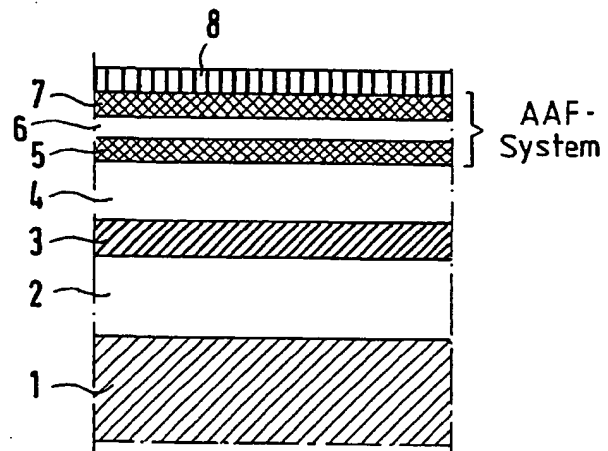
⑬ Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑭ Erfinder:  
Van den Berg, Hugo, Dr., 91074 Herzogenaurach,  
DE; Mattheis, Roland, Dr., 07743 Jena, DE

⑮ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
WO 94 15 223 A1  
DE-Buch: Magnetic Sensor, hrsg. v. R. Boll,  
K.J. Overshott (Bd. 5 von Sensors. A comprehen-  
sive Survey, hrsg. v. W. Göpel u.a.), Weinheim  
1989, S. 341-380;

⑯ Verfahren zur Herstellung eines Schichtaufbaus umfassend ein AAF-System sowie magnetoresistive  
Sensorsysteme

⑰ Verfahren zur Herstellung eines Schichtaufbaus, um-  
fassend ein AAF-System (artificial-antiferromagnetic-sy-  
stem), bestehend aus mindestens einer Biasschicht, min-  
destens einer Flußführungsschicht und mindestens einer  
zwischen diesen angeordneten, beide benachbarte Ma-  
gnetschichten antiferromagnetisch koppelnden Kopp-  
lungsschicht, wobei mittels dieses Schichtaufbaus ein  
magnetoresistives Sensorsystem mit mindestens zwei  
Sensorelementen bildbar ist, wobei zur Ermöglichung ei-  
ner lokal antiparallelen Ausrichtung der Magnetisierun-  
gen der Biasschichten nach der Herstellung des AAF-Sy-  
stems lokal die Symmetrie des AAF-Systems derart be-  
einflußt wird, daß die beeinflussten und die nicht beein-  
flußten Bereiche des Schichtaufbaus ein unterschiedli-  
ches Verhalten in einem homogenen Magnetfeld zeigen.



**DE 198 30 343 C 1**



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Schichtaufbaus umfassend ein AAF-System (artificial-antiferromagnetic-system) bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und einer zwischen diesen angeordneten, zwei benachbarte Magnetschichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, wobei mittels dieses Schichtaufbaus ein magnetoresistives Sensorsystem mit mindestens zwei Sensorelementen bildbar ist. Ein entsprechender Schichtaufbau mit einem AAF-System ist z. B. der WO 94/15223 A1 zu entnehmen.

Aus dem DE-Buch "Sensors - A Comprehensive Survey (Hrsg.: W. Göpel u. a.), VCH Verlagsgesellschaft Weinheim, Vol. 5: Magnetic Sensors (Hrsg.: R. Boll u. a.), 1989, Kapitel 9: Magnetoresistive Sensors, Seiten 341 bis 378 sind allgemein der Aufbau von magnetoresistiven Sensoren, deren Funktionsweise und deren Anwendungen zu entnehmen. Die dargestellten Sensoren zeigen einen anisotropen magnetoresistiven Effekt. Aus der Literaturstelle geht auch die Bildung von Sensorbrücken hervor, die beispielsweise zur Herstellung von 360°-Winkeldetektoren verwendet werden können. Entsprechende Brücken können auch mit Sensoren aufgebaut werden, die den eingangs genannten Schichtaufbau mit einem AAF-System aufweisen. Auch hierbei ist es erforderlich, von den die Brücke bildenden vier Sensoren zwei Sensoren hinsichtlich ihrer Biasschicht-Magnetisierung entgegengesetzt zu den anderen auszurichten, um entsprechende Signale über den gesamten Winkelbereich zu erhalten. Dies ist auch bei Sensoren erforderlich, die auf Basis eines magnetischen Tunneleffekts oder mit Spin Valve Transistoren arbeiten. Dies erfolgt mittels eines magnetischen Einstellfeldes. Nachteilig dabei ist jedoch, daß bei benachbarten, eine Brücke bildenden Sensorelementen von Sensorelement zu Sensorelement das Einstellfeld unterschiedlich gerichtet sein muß, um durch Einprägen die Magnetisierungsrichtungen entsprechend einzustellen. Dies liegt darin begründet, daß der Aufbau jedes Sensorelements innerhalb der Sensorbrücke bzw. auf einem vollständigen, eine Vielzahl von Sensorbrücken umfassenden Sensorsubstrat jeweils identisch ist.

Die Aufgabe der Erfindung ist, eine Möglichkeit anzugeben, wie ein Schichtaufbau bzw. ein entsprechendes Sensorelement erhalten werden kann bzw. ausgestaltet sein sollte, um auf einfache Weise in einem homogenen Einstellfeld hinsichtlich der Biasschicht-Magnetisierungen unterschiedlich ausgerichtet zu werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, daß zur Ermöglichung einer lokal antiparallelen Ausrichtung der Magnetisierung der Biasschichten nach der Herstellung des AAF-Systems lokal die Symmetrie des AAF-Systems derart beeinflußt wird, daß die beeinflussten und die nicht beeinflussten Bereiche des Schichtaufbaus ein unterschiedliches Verhalten in einem homogenen Magnetfeld zeigen.

Die Erfindung geht also ab von einem identischen Schichtaufbau für sämtliche Sensorelemente bzw. für sämtliche Bereiche, die die Sensorelemente bilden sollen. Erfindungsgemäß wird die lokale Symmetrie des Systems beeinflußt, so daß sich unterschiedliche Bereiche bilden, die ein unterschiedliches Verhalten zeigen. Zur lokalen Beeinflussung des Schichtaufbaus kann erfindungsgemäß eine Maske verwendet werden.

Gemäß einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform kann vorgesehen sein, daß lokal an einem oder mehreren Bereichen eine magnetisch gekoppelte Zusatzschicht erzeugt wird, die einen zu einem lokal asymmetrischen Verhalten der Bereiche in einem homogenen Magnetfeld führenden Beitrag liefert. Es wird also eine weitere Schicht hinzugefügt, jedoch lediglich an den Bereichen, die in ihrer Magnetisierung entgegengesetzt zu der der nicht mit der Zusatzschicht versehenen Bereiche eingestellt werden soll. Dabei kann erfindungsgemäß die lokale Zusatzschicht durch die Maske abgeschieden werden. Alternativ dazu kann zunächst eine geschlossene Zusatzschicht aufgebracht werden, von welcher mittels der Maske entsprechende Bereiche entfernt werden, die den nicht zu beeinflussenden Bereichen entsprechen.

Wie beschrieben wird die Zusatzschicht auf das bestehende AAF-System abgeschieden. Um das AAF-System vor etwaiger Beschädigung oder einer während des Abscheidungsprozesses möglicherweise auftretenden Änderung der Schichtzusammensetzung zu schützen, sollte zweckmäßigerweise vor der Erzeugung der Zusatzschicht eine Deckschicht auf die Biasschicht oder die Flußführungsschicht aufgebracht werden.

Nach Fertigstellung dieses Schichtaufbaus kann die Einstellung mittels eines homogenen Magnetfeldes erfolgen, wonach zweckmäßigerweise die Zusatzschicht entfernt werden kann, da sie zur letztendlichen Bildung der Sensorsysteme und deren Betrieb nicht mehr benötigt wird. Zur Entfernung kann eine zweite Maske verwendet werden in dem Fall, daß die Zusatzschicht vorher als geschlossene Schicht über das gesamte Substrat aufgebracht wurde und lediglich in vorgegebenen Bereichen entfernt wurde. Um nun auch die Zusatzschicht in den anderen Bereichen entfernen zu können, muß mit einer zweiten Maske gearbeitet werden.

Eine Alternative zur Erzeugung einer lokalen Zusatzschicht sieht demgegenüber vor, daß zur Beeinflussung lokal die Zusammensetzung und/oder die Dicke einer Schicht des AAF-Systems geändert wird. Diese Änderung der Zusammensetzung bzw. der Dicke hat wiederum Einfluß auf das Verhalten des jeweiligen Bereiches in einem homogenen Magnetfeld, so daß auch hierdurch eine antiparallele Ausrichtung erreicht werden kann. Erfindungsgemäß kann die Änderung mittels lokaler Oxidation, lokaler Implantation und/oder in einem lokalen Ätzschritt erfolgen. Um auch hier das AAF zumindest in den Bereichen, die nicht beeinflußt werden sollen, zu schützen, kann erfindungsgemäß vor der Beeinflussung eine Deckschicht auf die Bias- oder die Flußführungsschicht aufgebracht werden, die in den zu ändernden Bereichen, gegebenenfalls unter Verwendung der Maske, entfernt wird. Die vorbeschriebenen Masken werden zweckmäßigerweise lithographisch, insbesondere photolithographisch erzeugt.

Wie beschrieben, kann es sich bei dem Schichtaufbau um einen geschlossenen, nicht in separate Sensorelemente unterteilten Aufbau handeln. Um einzelne separate Sensorelemente herauszustrukturieren, die letztlich den beeinflussten und nicht beeinflussten Bereichen entsprechen, können diese auf einem gemeinsamen Substrat angeordneten Bereich zweckmäßigerweise vor der Einstellung der Magnetisierung voneinander entkoppelt oder getrennt werden, was in einfacher Weise mittels eines lokalen Ätzschrittes, insbesondere vor einer etwaigen Entfernung der Maske erfolgt.

Ferner betrifft die Erfindung einen Schichtaufbau zur Bildung eines magnetoresistiven Sensorelements bzw. magnetoresistiver Sensorsysteme, welcher nach dem beschriebenen Verfahren hergestellt ist.

Daneben betrifft die Erfindung ein magnetoresistives Sensorsystem bestehend aus mindestens zwei Sensorelementen, von denen jedes ein AAF-System (artificial-antiferromagnetic-system) aufweist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferroma-



netisch koppelnden Kopplungsschicht. Dieses zeichnet sich dadurch aus, daß zur Ermöglichung einer antiparallelen Ausrichtung der Magnetisierung der Biasschichten ein Sensorelement oder ein Teil der Sensorelemente mit mindestens einer magnetisch gekoppelten Zusatzschicht versehen ist, die einen zu einem asymmetrischen Verhalten der Sensorelemente in einem homogenen Magnetfeld führenden Beitrag liefert.

Dabei kann erfindungsgemäß die Zusatzschicht einen Momentenbeitrag liefern, das heißt, das magnetische Moment der Schicht, an die die Zusatzschicht angekoppelt ist, wird hierdurch erhöht. Zusätzlich oder alternativ kann die Zusatzschicht einen Koerzitivitätsbeitrag liefern, das heißt, das Gesamtreibungsmoment der Verbindung Zusatzschicht-angekoppelte Schicht wird geändert. Gleichmaßen kann die Zusatzschicht auch einen Anisotropiebeitrag liefern, welcher zur lokalen Asymmetrie führt. Die Zusatzschicht kann eine ferromagnetische, eine antiferromagnetische oder eine ferrimagnetische Schicht sein. Die Phasenübergangstemperatur der Zusatzschicht, gegebenenfalls die Curie-Temperatur oder die Néel-Temperatur kann unterhalb des Betriebstemperaturbereichs des Sensorsystems liegen. Liegt dieser beispielsweise bei Raumtemperatur so wird das Sensorsystem zum Einstellen entsprechend auf eine Temperatur unterhalb der Phasenübergangstemperatur abgekühlt, das heißt, das Sensorsystem wird in einen Temperaturbereich gebracht, in dem die Zusatzschicht ihren Beitrag liefern kann. Bei Betriebstemperatur hingegen verhält sich die Zusatzschicht paramagnetisch.

Die Zusatzschicht kann unmittelbar auf die Biasschicht oder die Flußführungsschicht aufgebracht sein, alternativ hierzu kann die Biasschicht oder die Flußführungsschicht auch mit einer Deckschicht versehen sein, auf die die Zusatzschicht aufgebracht ist und die die beiden Schichten magnetisch koppelt. Vorteilhaft ist ferner, wenn die Zusatzschicht entfernbar, insbesondere ätzbar ist. Da bei Sensorsystemen aufgrund möglicher Unterschiede innerhalb der Sensorelemente, insbesondere sofern diese nicht auf einem gemeinsamen Substrat erzeugt sind, Temperaturschwankungen entstehen können, die das Meßsignal beeinflussen können, sind zweckmäßigerweise jeweils vier Sensorelemente des Sensorsystems nach Art einer Wheatstone'schen Brücke verschaltet. Hiermit läßt sich eine hinreichende Temperaturkompensation erzielen.

Die Erfindung betrifft ferner ein weiteres magnetoresistives Sensorsystem entsprechend der vorbeschriebenen Art. Dieses zeichnet sich dadurch aus, daß zur Ermöglichung einer antiparallelen Ausrichtung der Magnetisierung der Biasschichten eine Schicht eines Sensorelements oder eines Teils der Sensorelemente und damit die Symmetrie des jeweiligen AAF-Systems derart beeinflusst ist, daß beeinflusste und nicht beeinflusste Sensorelemente in einem homogenen Magnetfeld ein unterschiedliches Verhalten zeigen. Dabei kann erfindungsgemäß die Schicht infolge der Beeinflussung eine geänderte Zusammensetzung und/oder Dicke aufweisen, wobei dies durch lokale Oxidation, lokale Implantation und/oder lokale Ätzung erreicht werden kann. Auch hier sind zweckmäßigerweise jeweils vier Sensorelemente im Hinblick auf eine mögliche Temperaturkompensation nach Art einer Wheatstone'schen Brücke verschaltet.

Schließlich sieht die Erfindung ein weiteres Sensorsystem vor, bestehend aus mindestens einer Biasschicht und mehreren Flußführungsschichten, wobei hier zur Ermöglichung einer antiparallelen Ausrichtung der Magnetisierung der Biasschichten eine Flußführungsschicht eines Sensorelements oder eines Teils der Sensorelemente entfernt ist, wodurch sich ebenfalls ein unterschiedliches Schichtverhalten in einem homogenen Magnetfeld erzielen läßt.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** eine Querschnittsansicht eines Schichtaufbaus ohne Maske,

**Fig. 2** eine Querschnittsansicht des Schichtaufbaus aus **Fig. 1** mit Maske,

**Fig. 3** eine Schnittansicht des Schichtaufbaus bestehend aus einem mehrschichtigen AAF-System, und

**Fig. 4** den Schichtaufbau aus **Fig. 3**, wobei eine magnetisch relevante Schicht des AAF-Systems entfernt ist.

**Fig. 1** zeigt eine Schnittansicht eines Schichtaufbaus. Dieser besteht aus einer Substratschicht 1, einer Pufferschicht 2, einer Meßschicht 3, einer Entkopplungsschicht 4, einer Biasschicht 5, einer antiferromagnetischen Kopplungsschicht 6, sowie einer Flußführungsschicht 7. Die Schichten 5, 6 und 7 bilden das AAF-System. Auf diesen Schichtaufbau, der nur ausschnittsweise dargestellt ist und sich insoweit homogen über das gesamte Sensorsubstrat erstreckt, ist eine Deckschicht 8 aufgebracht, die zum Schutz des darunterliegenden AAF-Systems dient. Um lokal das Verhalten des AAF-Systems in einem homogenen Magnetfeld derart beeinflussen zu können, daß ein bereichsweise unterschiedliches Verhalten gegeben ist, wird lokal auf die Deckschicht eine einen magnetisch relevanten Beitrag liefernde Zusatzschicht gebracht. Die Deckschicht 8 koppelt die aufzubringende Zusatzschicht an die darunterliegende Schicht des AAF-Systems, im gezeigten Beispiel an die Flußführungsschicht 7. Um die Zusatzschicht in lokal ausgewählten Bereichen, die jeweils einem Sensorelement einer ersten Art entsprechen (die nicht mit der Zusatzschicht versehenen Bereiche bilden die Sensorelemente der zweiten Art, wobei sich die Sensorelemente hinsichtlich der Magnetisierungsschicht und der Biasschichten unterscheiden), wird eine lithographische Maske 9 auf die Deckschicht aufgebracht, die entsprechende Fenster 10 aufweist. Durch diese Fenster hindurch wird die Zusatzschicht 11, die hier nur gestrichelt dargestellt ist, abgeschieden. Infolge der Ankopplung der Zusatzschicht 11 an die darunterliegende Flußführungsschicht 7 ändert sich lokal das Verhalten dieses AAF-Systembereichs im Magnetfeld, so daß eine entgegengesetzte Bias-Ausrichtung dieser Sensorelemente erreicht werden kann. Vor der Einstellung der Magnetisierung mittels des homogenen Magnetfelds werden mittels eines lokalen selektiven Ätzvorgangs, der im wesentlichen entlang der Maskenkanten vertikal selektiv erfolgt, die einzelnen Bereiche voneinander getrennt, um so die Sensorelemente "herauszustrukturieren". Nach erfolgter Einstellung kann die Zusatzschicht sowie die Maske, gegebenenfalls auch die Deckschicht entfernt werden.

Die Zusatzschicht ist zweckmäßigerweise ein Ferromagnet mit niedriger Curie-Temperatur oder ein Antiferromagnet mit niedriger Néel-Temperatur. Die Phasenübergangstemperatur der Zusatzschicht liegt unterhalb des Einsatzbereichs des Sensorsystems, so daß die Zusatzschicht im Operationstemperaturbereich paramagnetisch ist, das magnetische Verhalten also nicht beeinflusst. Zur Einstellung der Biasschicht-Magnetisierungen wird das Sensorsystem – dessen Betriebstemperatur beispielsweise bei Raumtemperatur liegt – auf eine Temperatur unterhalb der Phasenübergangstemperatur abgekühlt, so daß die Zusatzschicht ihren jeweiligen Beitrag liefern kann.

Alternativ zu der vorbeschriebenen Aufbringungsform der Zusatzschicht kann diese auch zunächst großflächig aufgebracht werden und anschließend lokal mittels einer Maske entfernt werden. Für die nachfolgende Entfernung ist eine zweite Maske erforderlich.



Der Beitrag der Zusatzschicht kann ein Momentenbeitrag sein, zusätzlich oder alternativ kann es sich auch um einen Koerzitivitäts- und/oder Anisotropiebeitrag handeln.

Im Falle eines Momentenbeitrags liefert die Zusatzschicht ein magnetisches Moment bei der Einstelltemperatur. Dieses Moment kann sowohl parallel wie entgegengesetzt, je nach Wahl der Zusatzschicht und gegebenenfalls der Deckschicht, zur Magnetisierung der Biasschicht 5 sein. Die Richtung der Magnetisierung  $M_2$  der Flußführungsschicht 7 ist gegeben durch

$$M_2 = \frac{M_2 d_2 - M_1 d_1}{|M_2 d_2 - M_1 d_1|} \frac{H_{ein}}{|H_{ein}|} M_2 \quad (1)$$

mit

$M_1$  = Sättigungsmagnetisierung der Biasschicht

15  $M_2$  = Sättigungsmagnetisierung der Flußführungsschicht

$d_1$  = Dicke der Biasschicht

$d_2$  = Dicke der Flußführungsschicht

$H_{ein}$  = magnetisches Einstellfeld.

Die Magnetisierung  $M_2$  liegt parallel zum Einstellfeld, wenn  $M_2 d_2 > M_1 d_1$  ist. Die Zusatzschicht liefert bei der Einstelltemperatur ein Zusatzmoment  $m_z$ . Die Richtung der Magnetisierung  $M_2$  ergibt sich dann zu:

$$M_2 = \frac{M_2 d_2 \pm m_z - M_1 d_1}{|M_2 d_2 \pm m_z - M_1 d_1|} \frac{H_{ein}}{|H_{ein}|} M_2, \quad (2)$$

wobei das Pluszeichen für eine parallele Ankopplung von  $m_z$  an  $M_2$  und das Minuszeichen für eine antiparallele Ankopplung gilt. Die Richtung von  $M_2$  kann umgedreht werden, wenn

$$30 \quad (M_2 d_2 \pm m_z - M_1 d_1)(M_2 d_2 - M_1 d_1) < 0 \quad (3)$$

erfüllt ist.

Als Materialien für die Zusatzschicht können seltene Erdrreiche seltene Erd/Übergangsmaterial-Legierungen wie  $Tb_x(Fe_yCo_{1-y})_{1-x}$ ,  $Sm_x(Fe_yCo_{1-y})_{1-x}$ ,  $Ho_x(Fe_yCo_{1-y})_{1-x}$ ,  $Dy_x(Fe_yCo_{1-y})_{1-x}$ ,  $Nd_x(Fe_yCo_{1-y})_{1-x}$  sowie verdünnte ferromagnetische Materialien verwendet werden.

Wie beschrieben kann die Steuerung der Ausrichtung der Magnetisierung auch über die Koerzitivität oder Anisotropie erfolgen. In diesem Fall wird vorausgesetzt, daß  $M_2 d_2 = M_1 d_1$  ist. Nachfolgend wird eine Zusatzschicht betrachtet, die antiferromagnetisch oder bei der Einstelltemperatur näherungsweise antiferromagnetisch ist. Die Zusatzschicht ist wiederum direkt oder indirekt über die Deckschicht mit der Flußführungsschicht 7 des AAF-Systems gekoppelt. Bei Abkühlung unterhalb der Néel-Temperatur richten sich die magnetischen Spins nach dem von einem Feld gesättigten AAF-System aus. Die antiferromagnetische Zusatzschicht trägt jedoch kein magnetisches Netto-Moment, so daß die Richtung der Magnetisierung  $M_2$  gemäß der vorbeschriebenen Formel (1) undefiniert ist. In diesem Fall sind die Koerzitivitäten und Anisotropien entscheidend für die Ausrichtung. Im Falle einer Koerzitivitätssteuerung, das heißt einer durch Drehreibung hervorgerufene Richtungsbeeinflussung wird Formel (1) ersetzt durch:

$$M_2 = \frac{T_2 d_2 - T_1 d_1}{|T_2 d_2 - T_1 d_1|} \frac{H_{ein}}{|H_{ein}|} M_2 \quad (4a)$$

mit:

$T_1$  = Volumendichte der Drehreibung der Biasschicht

$T_2$  = Volumendichte der Drehreibung der Flußführungsschicht.

Für eine uniaxiale Anisotropie mit leichten Achsen parallel zum Einstellfeld und Anisotropiekonstanten  $K_1$ ,  $K_2$  und  $K_z$  für die jeweiligen Schichten gilt:

$$M_2 = \frac{K_2 d_2 - K_1 d_1}{|K_2 d_2 - K_1 d_1|} \frac{H_{ein}}{|H_{ein}|} M_2 \quad (4b)$$

Bei Temperaturen unterhalb der Néel-Temperatur wird die Zusatzschicht zwar kein Moment aufweisen, aber in den meisten Fällen ist die Drehreibung  $T_2 d_2$  oder die Anisotropieenergie  $K_2 d_2$  beachtlich groß. Die Richtung der Magnetisierung erfolgt demgemäß bei Koerzitivitätssteuerung aus:



$$\frac{M_2}{M_2} = \frac{T_2 d_2 + T_{AF} d_{AF} - T_1 d_1}{|T_2 d_2 + T_{AF} d_{AF} - T_1 d_1|} \frac{H_{ein}}{|H_{ein}|} \quad (5a)$$

bzw. bei Anisotropiesteuerung

$$\frac{M_2}{M_2} = \frac{K_2 d_2 + K_{AF} d_{AF} - K_1 d_1}{|K_2 d_2 + K_{AF} d_{AF} - K_1 d_1|} \frac{H_{ein}}{|H_{ein}|} \quad (5b)$$

Ersichtlich ist  $T_2 d_2$  immer positiv, so daß eine Umkehrung der Magnetisierung  $M_2$  nur dann möglich ist, wenn  $T_2 d_2 - T_1 d_1$  kleiner Null ist, das heißt, wenn die Biasschicht die größte Gesamtreibung aufweist. Nachdem das Feld bei der tiefen Temperatur auf Null reduziert ist, steht  $M_2$  in den maskierten Bereichen zum magnetischen Einstellfeld entgegengesetzt gerichtet, in den unmaskierten Bereichen steht sie parallel.

$K_2$  hingegen kann sowohl ein positives wie ein negatives Vorzeichen besitzen, so daß bei tiefer Temperatur  $M_2$  auch parallel zum Einstellfeld stehen kann.

Als Materialien können hier seltene Erdrreiche seltene Erd/Übergangsmaterial-Legierungen wie  $Tb_x(Fe_yCo_{1-y})_{1-x}$ ,  $Ho_x(Fe_yCo_{1-y})_{1-x}$ ,  $Dy_x(Fe_yCo_{1-y})_{1-x}$  mit Kompensationstemperaturen nahe der Einstelltemperatur und niedrigen Curie-Temperatur verwendet werden. Gleichermäßen können reine Antiferromagneten wie  $MnO$ ,  $FeO$ ,  $V_2O_3$  oder  $MnS$  verwendet werden.

Die Fig. 3 und 4 zeigen eine weitere Möglichkeit der antiparallelen Einstellung der Magnetisierung. Ausgehend vom Schichtaufbau gemäß Fig. 3, bei dem das AAF-System aus insgesamt vier magnetisch wirksamen Schichten 12, 13, 14, 15 besteht, wird mittels eines physikalischen oder chemischen Ätzschrittes eine Strukturierung dergestalt vorgenommen, daß in bestimmten Bereichen, in denen Sensorelemente einer ersten Art erzeugt werden sollen, die Schicht 15 und die darunterliegende Kopplungsschicht 16 entfernt werden, wie dies beispielsweise in Fig. 4 ausschnittsweise gezeigt ist. Mit der Bedingung

$$[M_{15}d_{15} - M_{14}d_{14} + M_{13}d_{13} \pm M_{12}d_{12}] \cdot [M_{15}d_{15} - M_{14}d_{14} + M_{13}d_{13}] < 0 \quad (6)$$

erhält man bei Einwirken eines Einstellfeldes eine antiparallele Stellung der Biasschicht 12 der strukturierten zu den nicht strukturierten Bereichen. Das "+"-Zeichen beim  $M_{12}d_{12}$ -Glied trifft bei ferromagnetischer, das "-"-Zeichen bei antiferromagnetischer Ankopplung von Schicht 12 an Schicht 13 zu. Zur Verbesserung der Homogenität des Systems (Offset-Spannung unabhängig von der Temperatur) kann man nach der Einstellung auch im bisher nicht strukturierten Sensorbrückenteil die Schicht 15 und die Kopplungsschicht 16 entfernen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Schichtaufbaus umfassend ein AAF-System (artificial-antiferromagnetic-system) bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide benachbarte Magnetschichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, wobei mittels dieses Schichtaufbaus ein magnetoresistives Sensorsystem mit mindestens zwei Sensorelemente bildbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Ermöglichung einer lokal antiparallelen Ausrichtung der Magnetisierungen der Biasschichten nach der Herstellung des AAF-Systems lokal die Symmetrie des AAF-Systems derart beeinflußt wird, daß die beeinflussten und die nicht beeinflussten Bereiche des Schichtaufbaus ein unterschiedliches Verhalten in einem homogenen Magnetfeld zeigen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur lokalen Beeinflussung des Schichtaufbaus eine Maske verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß lokal an einem oder mehreren Bereichen eine magnetisch gekoppelte Zusatzschicht erzeugt wird, die einen zu einem lokal asymmetrischen Verhalten der Bereiche in einem homogenen Magnetfeld führenden Beitrag liefert.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die lokale Zusatzschicht durch die Maske hindurch abgeschieden wird.
5. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß zunächst eine geschlossene Zusatzschicht aufgebracht wird, von welcher mittels der Maske entsprechende Bereiche entfernt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor der Erzeugung der Zusatzschicht eine Deckschicht auf die Biasschicht oder die Flußführungsschicht aufgebracht wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach der Einstellung der Magnetisierung mittels eines homogenen Magnetfelds die Zusatzschicht entfernt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6 und 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Entfernung eine zweite Maske oder die erste Maske verwendet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Beeinflussung lokal die Zusammensetzung und/oder die Dicke einer Schicht des AAF-Systems geändert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Änderung mittels lokaler Oxidation, lokaler Implantation und/oder in einem lokalen Ätzschritt erfolgt.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor der Beeinflussung eine Deckschicht auf



die Bias- oder die Flußführungsschicht aufgebracht wird, die in den zu ändernden Bereichen, gegebenenfalls unter Verwendung der Maske, entfernt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Beeinflussung lokal eine für das magnetische Verhalten relevante Schicht des mehrere Schichten umfassenden AAF-Systems entfernt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht durch Ätzen unter Verwendung der Maske entfernt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß nach erfolgter Einstellung mittels des homogenen Magnetfelds die teilweise entfernte Schicht auch in den übrigen Bereichen entfernt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweilige Maske lithographisch, insbesondere photolithographisch erzeugt wird.

16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung einzelner separater Sensorelemente die beeinflussen und die nicht beeinflussten Bereiche des auf einem Substrat angeordneten Schichtaufbaus voneinander entkoppelt oder getrennt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Bereiche in einem lokalen Ätzschritt, insbesondere vor einer etwaigen Entfernung der Maske entkoppelt oder getrennt werden.

18. Schichtaufbau zur Bildung eines magnetoresistiven Sensorelements bzw. magnetoresistiver Sensorsysteme, hergestellt nach dem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 17.

19. Magnetoresistives Sensorsystem bestehend aus mindestens zwei Sensorelementen, von denen jedes ein AAF-System (artificial-antiferromagnetic-system) aufweist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide benachbarten Magnetschichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermöglichung einer antiparallelen Ausrichtung der Magnetisierungen der Biasschichten (5) ein Sensorelement oder ein Teil der Sensorelemente mit mindestens einer magnetisch gekoppelten Zusatzschicht (11) versehen ist, die einen zu einem asymmetrischen Verhalten der Sensorelemente in einem homogenen Magnetfeld führenden Beitrag liefert.

20. Sensorsystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzschicht (11) einen Momentenbeitrag liefert.

21. Sensorsystem nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzschicht (11) einen, gegebenenfalls zusätzlichen Koerzitivitätsbeitrag liefert.

22. Sensorsystem nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzschicht (11) einen, gegebenenfalls zusätzlichen Anisotropiebeitrag liefert.

23. Sensorsystem nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzschicht (11) ein ferromagnetische, eine antiferromagnetische oder eine ferrimagnetische Schicht ist.

24. Sensorsystem nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasenübergangstemperatur der Zusatzschicht (11), gegebenenfalls die Curie-Temperatur oder die Néel-Temperatur unterhalb des Betriebstemperaturbereichs des Sensorsystems liegt.

25. Sensorsystem nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzschicht (11) unmittelbar auf die Biasschicht (5) oder die Flußführungsschicht (7) aufgebracht ist.

26. Sensorsystem nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Biasschicht (5) oder die Flußführungsschicht (7) eine Deckschicht (8) aufgebracht ist, die die darauf aufgebrachte Zusatzschicht (11) magnetisch koppelt.

27. Sensorsystem nach einem der Ansprüche 19 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzschicht (11) entfernbare, insbesondere ätzbar ist.

28. Sensorsystem nach einem der Ansprüche 19 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß es vier Sensorelemente oder ein Vielfaches davon umfaßt, wobei jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sch Brücke bilden.

29. Magnetoresistives Sensorsystem bestehend aus mindestens zwei Sensorelementen, von denen jedes ein AAF-System (artificial-antiferromagnetic-system) aufweist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, benachbarte Magnetschichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermöglichung einer antiparallelen Ausrichtung der Magnetisierungen der Biasschichten eine Schicht eines Sensorelements oder eines Teils der Sensorelemente und damit die Symmetrie des jeweiligen AAF-Systems derart beeinflusst ist, daß beeinflusste und nicht beeinflusste Sensorelemente in einem homogenen Magnetfeld ein unterschiedliches Verhalten zeigen.

30. Sensorsystem nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht infolge der Beeinflussung eine geänderte Zusammensetzung und/oder Dicke aufweist.

31. Sensorsystem nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht durch lokale Oxidation, lokale Implantation und/oder lokalen Ätzung beeinflusst ist.

32. Sensorsystem nach einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß es vier Sensorelemente oder ein Vielfaches davon umfaßt, wobei jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sch Brücke bilden.

33. Magnetoresistives Sensorsystem bestehend aus mindestens zwei Sensorelementen, von denen jedes ein AAF-System (artificial-antiferromagnetic-system) aufweist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mehreren Flußführungsschichten, und mindestens einer die Biasschicht und eine Flußführungsschicht antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermöglichung einer antiparallelen Ausrichtung der Magnetisierungen der Biasschichten eine Flußführungsschicht (15) eines Sensorelements oder eines Teils der Sensorelemente entfernt ist.

34. Sensorsystem nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß es vier Sensorelemente oder ein Vielfaches davon umfaßt, wobei jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sch Brücke bilden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen





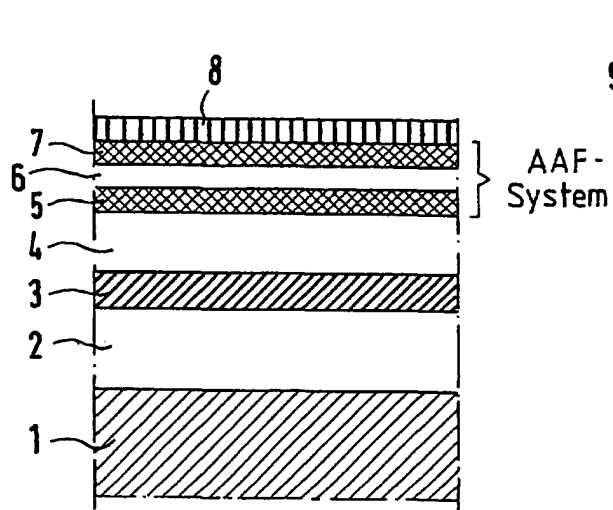


FIG. 1

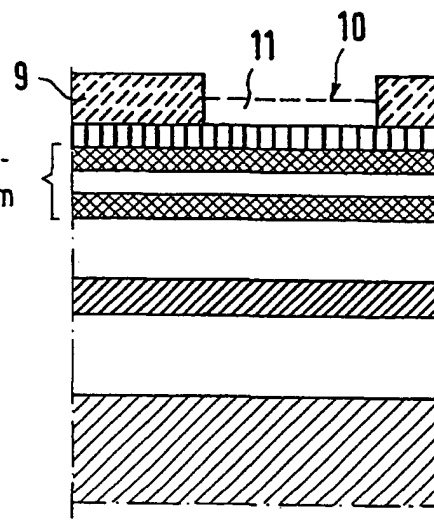


FIG. 2

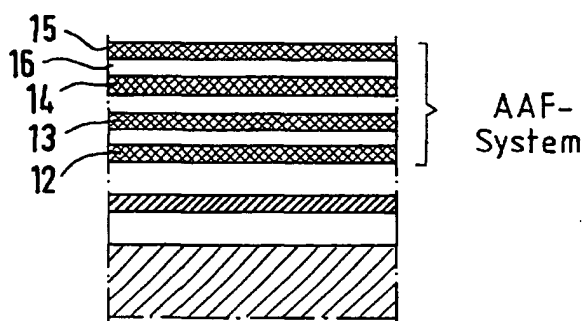


FIG. 3

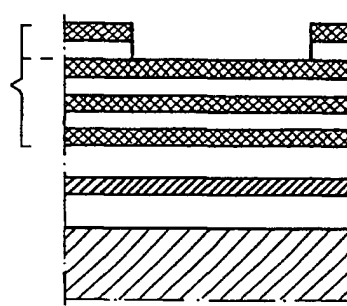


FIG. 4